

تحديات تدريس النظم المضمنة في عصر لوحات العتاد المعياري مفتوحة المصدر (دراسة إحصائية)

علي محمود علي *

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٤/١/٣٠ . قُبِلَ للنشر في ٢٠٢٤/٥/٢٦)

□ ملخص □

نشهد منذ عدة سنوات تطوراً تقنياً سريعاً في مجال الأنظمة المضمنة، الذي جعلها تصبح أكثر جاذبية وتوفراً لشريحة واسعة من الهواة والأكاديميين على حد سواء، حيث انتشرت لوحات العتاد المعياري (اللوحات الإلكترونية الجاهزة) مثل الأردوينو والراسبيري والبيغل (Beagle) بين الهواة وطلاب الهندسة، وأقيمت عليها المشاريع والورشات التدريبية، وهو ما يفرض على مناهج النظم المضمنة ومدرسيه مرونة كافية للتجاوب مع هذه التغيرات السريعة؛ تشير بعض الدراسات إلى عدة سلبات تواجه تبني لوحات العتاد المعياري من وجهة نظر تعليمية وخاصة في تدريس النظم المضمنة في اختصاصات هندسة الحواسيب والإلكترون والاتصالات والتحكم، لأن استخدام لوحات العتاد المعياري لدى الطلاب لا يمنحهم ما يكفي من الخبرة الإلكترونية لمواجهة التحديات العلمية في مستقبلهم الهندسي، وقد نُشرت العديد من الأبحاث التي تقترح بعض الإجراءات والتقنيات التعليمية التي تحفظ المستوى المطلوب لطلاب الهندسة.

تسلط هذه المقالة الضوء على تحديات اعتماد لوحات العتاد المعياري في التعليم الأكاديمي، واختلاف آراء الباحثين حول تبنيها وطرق مكاملتها في العملية التعليمية، وتحلل آراء المختصين في سورية وتلخص مجموعة من المقترحات التي تسمح بالاستفادة من هذه اللوحات الجاهزة واعتمادها بشكل سليم في المناهج التعليمية.

الكلمات المفتاحية: النظم المضمنة - اللوحات التطويرية - العتاد المعياري - الأردوينو.

Obstacles to teaching embedded systems in the era of open source modular hardware Boards

Ali Mahmoud Ali *

(Received 30/1/2024 . Accepted 26/5/2024)

□ ABSTRACT □

For several years, we have witnessed rapid technical development in the field of embedded systems, making it more attractive and available to a wide segment of hobbyists and academics alike. Standard hardware boards (ready-made electronic boards) such as Arduino, Raspberry Pi, and Beagle have spread among hobbyists and engineering students, so projects and training workshops have been held on them. This requires the embedded systems curriculum and its teachers to be flexible enough to respond to these rapid changes.

Some studies point to several negatives facing the adoption of standard hardware boards from an educational point of view, especially in teaching embedded systems in the disciplines of computer, electronic, communications, and control engineering. Use of standard hardware boards by students does not give them enough electronic experience to face the scientific challenges in their engineering future. Many studies have been published that suggest some educational procedures and techniques that maintain the required level of engineering students.

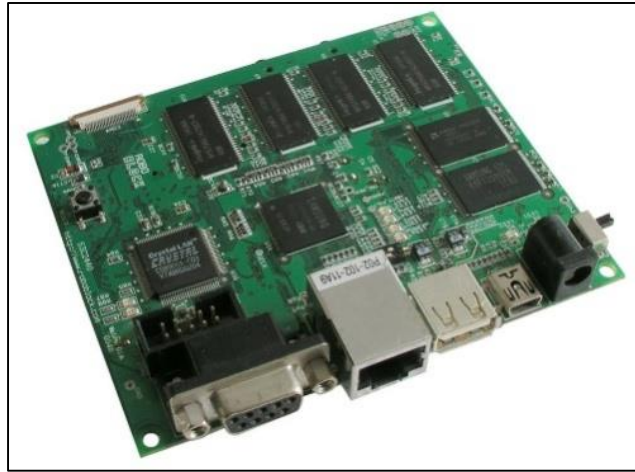
This article sheds light on the challenges of adopting standard equipment boards in academic education, the differing opinions of researchers about their adoption and ways to integrate them into the educational process. This article also analyzes the opinions of specialists in Syria, and summarizes a set of proposals that allow benefiting from these ready-made boards and adopting them properly in educational curricula.

Keywords: Embedded System, Development Boards, Modular Hardware, Arduino.

* Lecturer at the Faculty of Information and Communications Technology Engineering - Department of Communications Engineering - Tartous University - Syria.

١. مقدمة:

يُعرف العتاد المعياري (Modular Hardware) بأنه مجموعة من الألواح الإلكترونية القابلة للتطوير (Development Board) أو الوحدات القابلة للمعايرة والقياس (Modules)، وهي دارة مطبوعة تحتوي على متحكم صغري (MCU = Micro Controller) أو معالج صغري (CPU = Micro Processor) مع باقي القطع الإلكترونية اللازمة والتي جميعها تكوّن العتاد المادي (Hardware)، بالإضافة إلى العتاد البرمجي الذي يستخدم للبرمجة والتحكم بالعتاد المادي، يستخدم العتاد المعياري بشكل رئيسي كوسيلة للمهندسين والهواة للتعرف والاعتماد على برمجة المتحكمات والمعالجات الموجودة على الدارات المطبوعة، بالإضافة إلى غرض النمذجة المعيارية (Rapid Prototyping) في عدّة تطبيقات، وشاع استخدامه مؤخراً بسبب رخص سعره وسهولة الحصول عليه ومرونته وسرعة تنفيذ مشاريعه، يعد الأردوينو (Arduino) أشهر أنواع العتاد المعياري، يوضح الشكل (١) هذا العتاد.



الشكل (١) - لوح عتاد معياري

بشكل عام لا تحتوي لوحات العتاد المعياري بشكلها الأصلي على عتاد مادي مخصص لواجهة المستخدم، كالشاشات الصغيرة أو لوحات المفاتيح، ولكن أغلبها يدعم الوصل بالشاشات ووسائط الإدخال، وتكون مزودة بوسائل ليقوم المستخدم من خلالها بتحميل وتشغيل البرامج، كالمنافذ التسلسلية (Serial Ports) التي تستخدم لتحميل البرنامج إلى ذاكرة الفلاش الموجودة في اللوحة.

منذ عدة سنوات ظهرت لوحات العتاد المعياري مثل الأردوينو والراسبيري والبيغل، وانتشرت هذه اللوحات بشكل واسع في العقد الماضي بين الهواة والأكاديميين، وساعدت في بناء النماذج والأجهزة بسهولة بفضل المجتمعات الواسعة التي تشكلت لها على الإنترنت وضمنت مهندسين وباحثين وفنيين وهواة أيضاً، بدأت المناهج التدريسية الهندسية باعتماد هذه اللوحات المعيارية، ونجد سنوياً العديد من المقالات المنشورة التي تبين ازدياد دخول هذه اللوحات في مجال التدريس الأكاديمي الجامعي، ودفعت التقانة الجديدة إلى تغيير المسيرة النمطية لطلاب الهندسة الكهربائية بفروعها المتعددة، حيث ألغت الحاجة إلى التصميم الإلكتروني بالمستوى الأدنى وإلى التعامل مع الآلة في الزمن الحقيقي [٦].

ترى المراجع البحثية التي تتناول تبني لوحات العتاد المعياري في تدريس البرمجة أن هذه اللوحات قدمت قيمة مضافة كبيرة، إذ سمحت للطلاب بالاقتراب من البيئة المادية والخروج من نظام التشغيل، فمثلاً يشير كل من [١] و [٥]

و[٩] و[١٠] إلى فائدة اعتماد الأردوينو في منهاج البرمجة وذلك عبر تقديم طريقة غير تقليدية للطلاب تخرجهم من الشاشة (Out Of The Screen) إلى العالم الحقيقي والبيئة المادية حيث يمكنهم التفاعل، وهو ما جعل منهاج البرمجة أكثر متعة، وساهم في رفع اهتمام الطلاب وقدرتهم على الإبداع؛ كما يشير [٧] إلى أن لوحات العتاد المعياري تسمح لطلاب النظم المضمنة بالولوج إلى مجتمع مفتوح المصدر يساعد في جعل الأشياء تعمل بسهولة وسرعة ويجنبهم اختبار تحديات المستوى الأدنى للنظم المضمنة (تصميم الدارة الإلكترونية والبرمجة بلغة المتحكم)، بالإضافة إلى ذلك فإن وجود التصاميم مفتوحة المصدر والقابلة للاستخدام يجعل من الصعب على القائمين على التدريس تحديد ما أنجزه الطلاب بأنفسهم.

تم التعرف على الوسائط التعليمية ضمن سورية التي اعتمدت على العتاد المعياري ضمن دراساتها وتشمل الدراسة الميدانية جامعات دمشق وطرطوس وتشرين، والدوافع التي ساعدت على انتشار العتاد المعياري ضمن بعضها، والمعوقات التي تمنع انتشاره في بعضها الآخر، وتشمل الاستبيانات الكليات العلمية الآتية:

- أ- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة دمشق - قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات.
- ب- كلية الهندسة التقنية في جامعة طرطوس - قسم هندسة الأتمتة الصناعية.
- ج- كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات في جامعة طرطوس - قسم هندسة الاتصالات - وقسم هندسة المعلومات - وقسم هندسة النظم الحاسوبية.
- د- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة تشرين - قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات - وقسم هندسة الميكاترونكس.
- هـ- بعض المدرسين في المركز الوطني للمتميزين.

٢- هدف البحث:

يهدف المشروع إلى البحث في الأسئلة الآتية:

- هل جاءت السرعة والمرونة التي يقدمها العتاد المعياري على حساب مستوى المهندس في قطاع الإلكترونيات؟
- ألا توحى راحة الطلاب المهندسين في التعامل مع العتاد المعياري وانتشاره السريع بأن له جوانب غير إيجابية سيظهر أثرها في المستقبل؟
- هل يدرك الطالب المهندس مكونات وأجزاء دارات العتاد المعياري وآلية عملها؟ وهل يتمكن من تصميم هذه الدارات وإصلاحها أو تبديل عناصرها؟
- ما هي درجة استفادة الطالب من المشاريع التي ينجزها بنفسه مقارنةً بتلك التي يقوم بتشكيلها فقط؟
- انطلاقاً من ضرورة مجازة التقانات البازغة والمفيدة، كيف يمكن الاستفادة من تقانة العتاد المعياري ورفع السوية الإلكترونية للمهندس في نفس الوقت؟

٣- طرائق البحث ومواده:

يُعدُّ منهاج النظم المضمنة منهاجاً أساسياً في هندسة الحواسيب والإلكترون والتحكم، تنتشر تطبيقاته في العديد من المنتجات التي تلامس حياتنا اليومية، وقبل ظهور لوحات العتاد المعياري كان على الطالب في منهاج النظم المضمنة أن يتعامل مع المستوى العتادي الأدنى حيث كانت المعالجات تفرض عليه استخدام لغة التجميع (Assembly) من دون نظام تشغيل، وهي تبين للطالب ما يحدث حقيقة على مستوى الآلة، بالإضافة إلى ذلك كان تصميم النظم المضمنة بما يشمله من برمجيات ودارات إلكترونية يشكل أصعب المراحل التي يواجهها طلاب الهندسة الكهربائية بفروعها المتعددة، إذ تتطلب هذه المرحلة استثمار جميع المعارف الهندسية التي تلقاها الطالب خلال دراسته وصلها عملياً، واستكمال الفجوات بين النظري والتطبيقي، وما يرافق ذلك من حاجة إلى البحث في إمكانات السوق من عناصر متوفرة وإمكانات التصنيع، والحاجة للبحث عن ذوي الخبرة والاستفادة من تجاربهم، ومعها يدخل الطالب في حلقات متتالية من التجربة والخطأ يكتشف خلالها أخطاء التصميم ويبحث عن الحلول، ويتعرف خلال البحث على أفكار وتقنيات جديدة تدفع بمشروعه إلى آفاق مختلفة، تشكل هذه المسيرة العملية في النهاية نواة المهندس الجديد المنطلق في سوق العمل والذي سيكون عليه التعامل مع الأنظمة الكهربائية (صناعية - طبية - عسكرية - خدمية - إلخ..) من تشغيل وصيانة وتطوير [٣].

انتشرت في سورية تقانة العتاد المعياري بشكل كبير في الوسط الطلابي وتشكلت مجموعات محلية مهتمة بتأمين الموديولات للطلاب ومساعدتهم عبر إقامة ورشات، وتأسست العديد من الشركات الناشئة المهتمة باستخدام هذه التقانة الجديدة وتدريسها في المعاهد وتسويقها لدى طلاب الجامعات فتجاوز الطالب بذلك تصميم الدارة الإلكترونية التي تتطلب عمليات تكرارية وطويلة من بناء المخطط الكهربائي ورسم الدارة المطبوعة وتجميع العناصر والاختبار والتعديل والتصحيح، وبات الطالب أسرع وأكثر مرونة في تشكيل مشروعه من مجموعة موديولات جاهزة وتعديلها وربطها برمجياً [٨].

يفترض البحث أن تقانة العتاد المعياري تقلل من قدرة خريجي الجامعات على تصميم الدارات الإلكترونية وتؤثر سلباً على مستواهم الفني، وتمنح المهندس القدرة على البناء السريع لمشروعه وبتكلفة منخفضة، كما تسمح له بالاستفادة من كل جديد يتعلق بهذه التقانة البازغة، وتضعف قدرة الطالب في إدراك مكونات وأجزاء اللوحات الإلكترونية وإمكاناته في تصميم الدارات الإلكترونية، فتكون درجة استفادة الطالب من مشاريع التصميم الذاتي أكبر من مشاريع اللوحات الإلكترونية الجاهزة التي يقوم بالربط بينها فقط.

تم اتباع الطريقة الإحصائية في أخذ عينات مختلفة من مجال الدراسة في جامعات دمشق وتشترين وطرطوس، وبحثنا في بارامترات مختلفة مثل (عدد المشاركين مع المهنة والجهات التابعين لها - نسبة انتشار العتاد المعياري - تأثير العتاد المعياري على الخبرة الإلكترونية - ميول المشاركين)، واعتمدنا مخطط الأعمدة (Column) لمقارنة أعداد المشاركين من أجل بارامتر معين، واستخدمنا المخطط البياني الدائري (Pie - Doughnut) لحساب النسب المئوية لبارامترات مختلفة، حيث يوضح هذا النوع من المخططات مقارنة الجزء بالكل أو لمقارنة الأجزاء مع بعضها البعض، وذلك بالاستفادة من العلاقة الرياضية التالية:

$$P = 100 * \frac{n}{N}$$

حيث:

(P) النسبة المئوية المطلوبة لعدد معين من المشاركين.

(N) العدد الكلي للبارامتر.

(n) عدد جزء معين من العدد الكلي [١١].

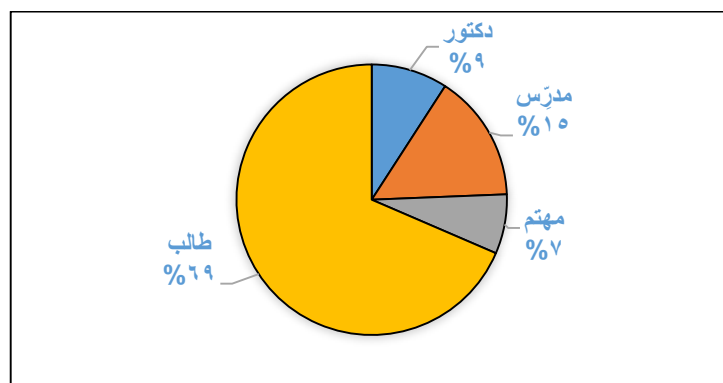
٤ - النتائج والمناقشة:

تم بداية دراسة إحصائيات جامعات طرطوس ودمشق وتشيرين يبين الجدول (١) هذه النتائج حيث بلغ عدد المشاركين في الاستبيان (٤٩) من أعضاء الهيئة التعليمية منهم (١٩) دكتوراً (باحثاً) و(٣٠) مهندساً مدرّساً، بالإضافة إلى (١٤) مهتماً و(١٣٥) طالباً.

الجدول (١) - العدد الشامل للمشاركين في الاستبيان

م	الصفة	العدد
1	دكتور	19
2	مدرّس	30
3	مهتم	14
4	طالب	135
	المجموع	198

يبين الشكل (2) المخطط البياني الدائري (Pie - Doughnut) لشرائح الاستبيان حيث يتضح لنا أن نسبة الطلاب هي الشريحة التي نالت النصيب الأكبر من الاستبيان والتي بلغت (69 %) من عدد المشاركين، وبالمقابل بلغت نسبة المهتمين النسبة الأقل من المشاركين (7 %)، وكانت نسبة أعضاء الهيئة التعليمية بينهما فأخذت نسبة الدكاترة (9 %) وكانت (15 %) للمدرّسين.



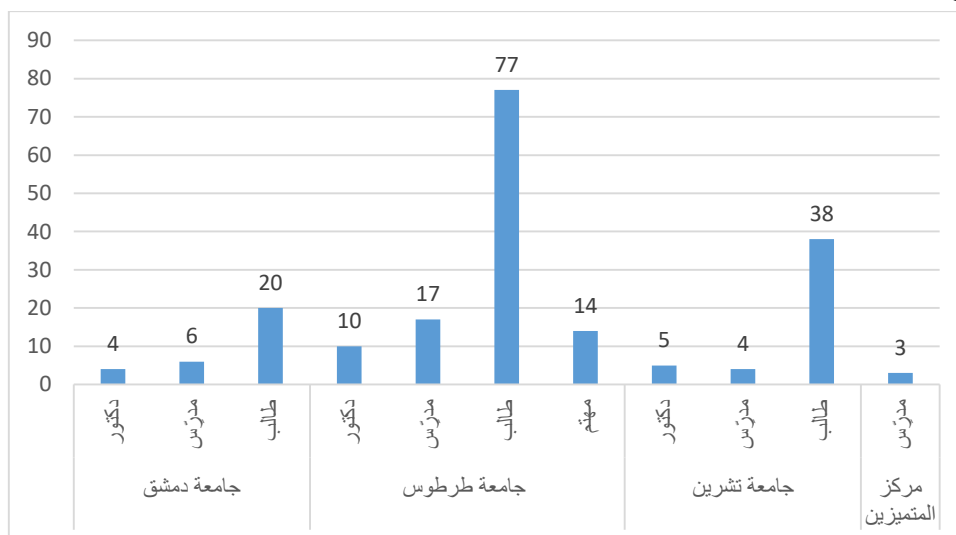
الشكل (٢) - النسب المئوية للمشاركين في الاستبيان

يبين الجدول (2) تفصيل الاستبيان الجاري في الجامعات الثلاث بإظهار عدد المشاركين في كل منها، والذي بلغ (198) مشاركاً بين دكتور ومدرّس وطالب ومهتم.

الجدول (٢) - المشاركون في الاستبيان حسب الجامعات الثلاث

م	مكان العمل	الصفة	العدد
١	جامعة دمشق	دكتور	4
		مدرّس	6
		طالب	20
٢	جامعة طرطوس	دكتور	10
		مدرّس	17
		طالب	77
		مهتم	14
٣	جامعة تشرين	دكتور	5
		مدرّس	4
		طالب	38
٤	المركز الوطني للمتميزين	مدرّس	3
المجموع			198

برسم المخطط البياني العمودي (Column) لعدد المشاركين في الاستبيان، أي للجدول (2) نحصل على الشكل (3)، حيث يتضح أن شريحة الطلاب من جامعة طرطوس شاركت بالعدد الأكبر الذي بلغ (77) طالباً في الاستبيان.



الشكل (٣) - عدد المشاركين في الاستبيان

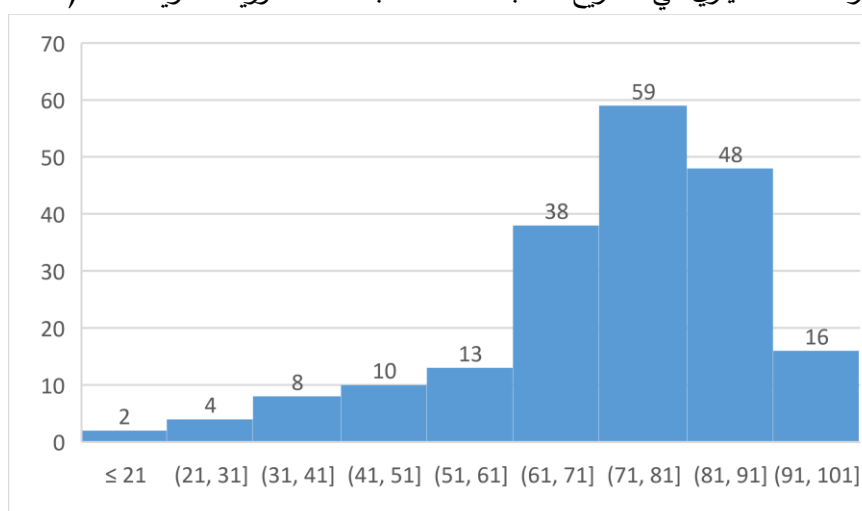
- حساب نسبة انتشار العتاد المعياري:

من أجل معرفة نسبة انتشار العتاد المعياري في المشاريع الطلابية وضعنا النسب في جدول تكراري لحساب معدّل التكرار لهذه النسب تم الحصول على الجدول (3) الذي يلخص نسبة انتشار العتاد المعياري حسب رأي المشاركين في الاستبيان.

الجدول (٣) - جدول التكرار للنسبة المئوية لانتشار العتاد المعياري

م	النسبة	معدل التكرار
1	0-10	0
2	11-20	2
3	21-30	4
4	31-40	8
5	41-50	10
6	51-60	13
7	61-70	38
8	71-80	59
9	81-90	48
10	91-100	16
	المجموع	198

برسم مخطط التكرار (Histogram) لنسبة انتشار العتاد المعياري المبينة في الجدول (3) تم الحصول على المخطط المبين في الشكل (4)، ويتضح من المخطط البياني أن نسبة انتشار العتاد المعياري التي حصلت على العدد الأكثر من الآراء المشاركة في الاستبيان هي بين (70-80 %) حيث بلغت (59) مشاركاً من أصل (198)، فيمكن اعتبار نسبة انتشار العتاد المعياري في مشاريع طلاب هندسات الجامعات السورية مساوية (75 %).



الشكل (٤) - المخطط التكراري لنسبة انتشار العتاد المعياري

نلاحظ أن نسبة انتشار العتاد المعياري كبيرة جداً بالمقارنة مع انتشار العتاد التقليدي، وهي مطابقة لما ذكرناه في البحث بأن نسبة العتاد المعياري كبيرة في مشاريع الطلاب السوريين.

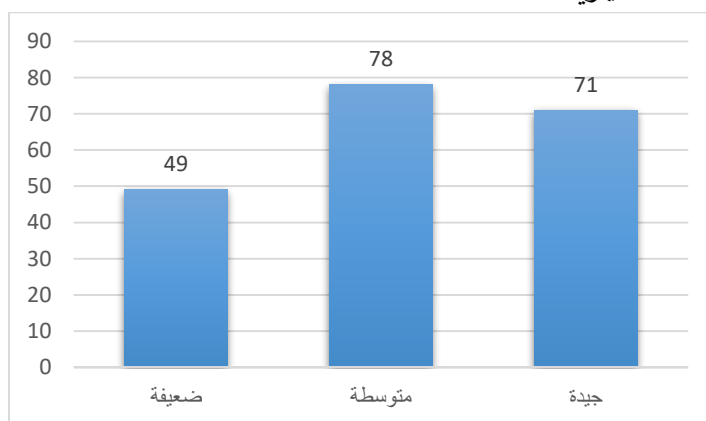
- دراسة الخبرة الإلكترونية لدى الطلاب:

لمعرفة خبرة الطلاب الإلكترونية إثر استخدامهم للعتاد المعياري، قمنا بوضع الإجابات في جدول تكراري لحساب معدل التكرار الجدول (4) الذي يبين الخبرة الإلكترونية لدى الطلاب حسب آراء المشاركين في الاستبيان.

الجدول (٤) - جدول التكرار للخبرة الإلكترونية لطلاب العتاد المعياري

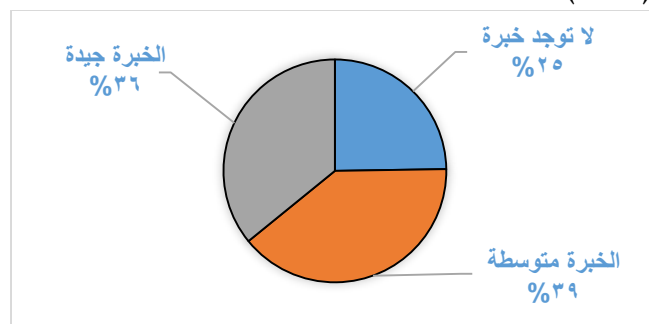
م	الخبرة الإلكترونية	معدل التكرار
1	ضعيفة	49
2	متوسطة	78
3	جيدة	71
	المجموع	198

برسم مخطط الأعمدة (Column) لمعدل تكرار الخبرة الإلكترونية المبينة في الجدول (7) نحصل على مخطط الأعمدة المبين في الشكل (5)، حيث يتضح تباين الآراء حول الخبرة الإلكترونية للطلاب بثلاثة مستويات فمن أصل عدد المشاركين الكلي البالغ (198) مشاركاً يرى (71) مشاركاً أن الخبرة الإلكترونية جيدة، ويعتقد (78) مشاركاً أن الخبرة متوسطة، في حين أن (49) مشاركاً يعتبرون أن الخبرة الإلكترونية أصبحت ضعيفة لدى الطلاب بعد استخدامهم للعتاد المعياري.



الشكل (٥) - مخطط وجود الخبرة الإلكترونية لدى الطلاب

بالاستفادة من الجدول (4)، يمكن التعبير عن آراء المشاركين في الاستبيان حول خبرة الطلاب الإلكترونية كنسبة مئوية بمخطط من النوع الدائري (Pie - Doughnut) كما في الشكل (6)، فنلاحظ حسب وجهة نظر أكثر من ثلث المشاركين (39 %) أن الخبرة الإلكترونية متوسطة لدى الطلاب وهي النسبة الأكبر بين النسب الثلاث، وإذا نظرنا إلى النتيجتين الباقيتين نجد أن الآراء تميل لتكون الخبرة جيدة لدى الطلاب (36 %) أكثر من عدم وجودها (25 %).



الشكل (٦) - النسبة المئوية لوجود الخبرة الإلكترونية لدى الطلاب

ومن الملاحظ أن (25 %) من الآراء يؤيدون وجهة نظرنا في فرضية البحث التي تعتبر أن تقانة العتاد المعياري تقلل من قدرة خريجي الجامعات على تصميم الدارات الإلكترونية وتؤثر سلباً على مستواهم الفني.

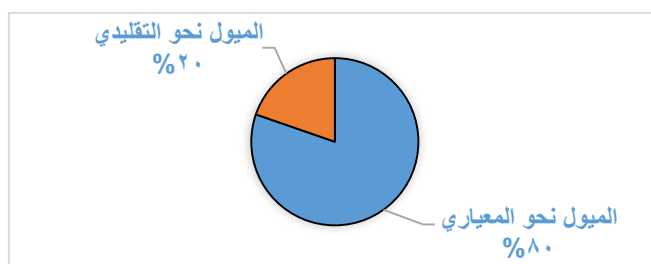
- دراسة الميول:

نقوم بوضع درجة الميول في الجدول لنحصل على معدل التكرار لميول الطلاب المتبع في مشاريعهم بين العتاد التقليدي والعتاد المعياري، فنحصل على الجدول (5).

الجدول (٥) - ميول الطلاب نحو العتاد التقليدي والمعاري

م	الميول	معدل التكرار
1	معاري	159
2	تقليدي	39
	المجموع	198

ويتضح من المخطط الدائري المبين في الشكل (7) أن النسبة الأكبر من الطلاب التي تبلغ (80 %) تتجه حالياً إلى تصميم مشاريع إلكترونية باستخدام العتاد المعياري، في حين يجري (20 %) من الطلاب مشاريعهم بواسطة العتاد التقليدي.



الشكل (٧) - ميول الطلاب في مشاريعهم

- نتائج الدراسة:

تم استطلاع آراء المختصين والخبراء في مجال النظم المضمنة عبر استبيانات شملت البيئتين الأساسيتين في تعليم واستثمار النظم المضمنة وكانت النتائج كما يلي:

- أجمع العديد من المختصين على أن الأردوينو مناسب لبناء النماذج الأولية (Prototype) والاختبار السريع حيث يساهم في توفير الوقت والكلفة، لكنه غير مناسب لتصنيع الأجهزة التجارية وغير مناسب لأجهزة تعمل في ظروف بيئية قاسية (مثل درجة حرارة عالية وضجيج مرتفع).

- أغلب مشاريع الأردوينو مكررة، وهي لا تتطلب قراءة بيانات العناصر الإلكترونية والدخول في البنية الداخلية للمتحكمات، وبعض المشاريع لا يحتاج إمكانيات كامل لوحة الأردوينو ويمكن تنفيذه بدارات بسيطة، مع إهمال مسألة الأمثلية في التصميم (عدم استخدام كامل إمكانيات اللوحة الجاهزة).

- من ناحية الوظائف والسعر والحاجة إلى الصيانة، تكون النتيجة هي ضعف قدرة الطالب على تصميم ورسم وتصنيع الدارات الإلكترونية والتعامل مع العناصر الإلكترونية والمتحكمات الصغيرة، واقتصاره على تجميع المخطط فقط وهي مهمة بسيطة يقوم بها العديد من الهواة حول العالم.

- الاستنتاجات والتوصيات:

لن نكون في سورية بمعزل عن التقانات التي تخترق حدود العالم في كل الميادين، ولكن ينبغي ألا يكون دورنا هو فقط المستهلكون والمستثمرون لما نستورده من تقانات، بل علينا الاهتمام بالمستوي الأكاديمي ضمن جامعتنا بزيادة كفاءة خريجينا من المهندسين في اختصاصات الاتصالات والإلكترونيات والتحكم والحاسوب، ونرى من خلال البحث الذي أجريناه على عينة هامة من جامعاتنا السورية أنه لا بد من النظر في النقاط الآتية:

١- يمكن توصيف العتاد المعياري أنه يضع من خبرة مهندسي التصميم الإلكتروني، ويرفع من الخبرة الإلكترونية لمهندسي البرمجة، لذا من غير المفيد أن يحلّ العتاد المعياري مكان العتاد التقليدي بشكل كامل، ومن الضروري تخصيص مواد محددة لتدريس التقانة الجديدة، بالتوازي مع تعزيز العتاد التقليدي التصميمي المعتاد، وزيادة الاهتمام بالهندسة العكسية، وتوجيه الطلاب للتوصيف الإلكتروني لدارات قائمة من أجهزة إلكترونية مستعملة أو قديمة، وقد تكون هذه الدارات الموصفة من العتاد المعياري الجديد.

٢- في الوضع الراهن لانتشار العتاد المعياري بهذه الطريقة الواسعة لدى طلاب الهندسة في الجامعات السورية يجب تشجيع أن يجري الطلاب مشاريع تخرج بواسطة العتادين التقليدي والمعيار معاً، بأن يقوم الطلاب بتصميم دائرة إلكترونية بواسطة العتاد المعياري ثم تصميمها بواسطة العتاد التقليدي لكي يكونوا على اطلاع ودراية بالفرق بينهما.

٣- توجيه الطلاب على إجراء المشاريع الإلكترونية ضمن المخابر دون التركيز الكبير والدقيق على تشغيل وعمل الدارات بعد الانتهاء من تصميمها، فربما لا يعمل المشروع بعد جهد كبير من العمل والمتابعة، والتوجه نحو تعزيز مفهوم "التعلم من الأخطاء" لدى الطلاب عبر كشف الأعطال وتحليلها وإصلاحها، وخاصة في السنوات التي تُدرّس فيها مواد الأسس في الكهرباء والإلكترونيات.

٤- المراجعة الدورية لطلاب هندسات الإلكترونيات للمهندسين المشرفين أثناء قيامهم بتنفيذ مشاريع عملية خلال الدراسة، وذلك للاطلاع على الخطوات الجديدة عدة مرات خلال الفصل، لأن التركيز على كفاءة عمل المشروع المنجز دون النظر في الطرق والخطوات التفصيلية التي اتبعتها الطلاب سيدفعهم إلى جهات خارجية لتنفيذ مشاريعهم مقابل ربح مادي للحصول على مشروع براق.

المراجع:

- [1] CHUNG, C, C; LOU, S, J. 2021, *Physical Computing Strategy to Support Students' Coding Literacy: An Educational Experiment with Arduino Boards*, 18. (<https://www.mdpi.com>).
- [2] Carstens, K, J; Mallon, J, M; Bataineh, M, M; Bataineh, A. 2021, *Effects of Technology on Student Learning*, 9. (<https://files.eric.ed.gov>).
- [3] ESPINOSA, R, C; CAICEDO-ERAZO, J, C; LONDOÑO, M, A; PITRE, I, J. 2023, *Inclusive Innovation through Arduino Embedded Systems and ChatGPT*, 8. (<https://mr.saludcyt.ar>)
- [4] KURELOVIC, E, K. 2023, *Challenges of Blended versus Online Learning with Arduino for Teachers and Students*, 7. (<https://www.researchgate.net>).
- [5] MARIN, J, A; GARCIA-TUDELA, P, A; TERRONC, P, D. 2024, *Computational thinking and programming with Arduino in education: A systematic review for secondary education*, 15. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov>).
- [٦] DAT, D; BIEN, V; KHUYEN, T, T; HA, T, V; AN, T, T; ANH, P. 2023, *Arduino-Based Experiments: Leveraging Engineering Design and Scientific Inquiry in STEM Lessons*, 16. (<https://www.researchgate.net>).
- [7] TOPCUBAŞI, T; TIRYAKI A. 2023, *The Effect of Arduino-Based E-STEM Education on Students' Entrepreneurial Skills and STEM Attitudes*, 11. (<https://ejournal.upi.edu>)
- [8] Winarno, I; Barakbah, A; Pramadihanto, D; Sesulihatien, W, T; Harsono, T; Dewantara, B, S; Setiawardhana, S; Fariza, A; Syarif, I; Badriyah, T; Iskandariansyah, I; Susanti, P. 2022, *Embedded system training based on Arduino to improve software programming knowledge for vocational students*, 11. (<https://jurnal.unmer.ac.id>)
- [9] YUPANQUI, M, T; SILVA, C, V; FARRIOL, L, P; ORTIZ, A, S; COBO, J, C; PEREIRA, A, F. 2022, *Exploiting Arduino Features to Develop Programming Competencies*, 14. (<https://ieeexplore.ieee.org>).
- [10] ZEID, A; DUGGAN C. 2024, *Teaching Community College Students Programming without Programming using Arduino Spark Fun Inventors' Kit*, 10. (<https://www.ijires.org>).
- [١١] Hassan, K. 2024, *التحليل الاحصائي للبيانات: مفاهيم احصائية وتطبيقات في البرنامج SPSS*, 53. (<https://www.researchgate.net>).